

УДК 530.19

С.Є.СЕЛІВАНОВ, д-р техн. наук

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

В.Е.АБРАКІТОВ, О.Ю.НІКІТЧЕНКО, кандидати техн. наук, Я.І.ЧУПРІНА

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ВІДСТАНІ ВІД ДЖЕРЕЛА ЗАЛЕЖНО ВІД ФОРМИ ХВИЛЬОВОГО ФРОНТУ**

У численних роботах багатьох авторів указується на відоме явище спаду інтенсивності будь-яких видів випромінювання від точкового джерела пропорційно квадрату відстані від нього. Пропонується визначати інтенсивність випромінювання на відстані від джерела залежно від форми хвильового фронту.

Відомим є спосіб визначення інтенсивності випромінювання  $I$  в контрольній точці, розташованій на необхідній відстані  $R$  від джерела, який включає визначення вихідного значення інтенсивності  $I_0$  у точці, розташованій на первісно заданій відстані  $R_0$  від того ж джерела [1]. Спосіб можна застосовувати тільки для визначення інтенсивності випромінювання точкових, лінійних та деяких інших заздалегідь обговорених видів джерел. При цьому конкретні математичні залежності, за якими виконується пропорційне перерахування, відрізняються залежно від цього заздалегідь обговореного типу джерела (від точкового – спад інтенсивності пропорційно квадрату відстані, від лінійного – спад інтенсивності пропорційно першому ступеню відстані та ін.). Класифікувавши тип джерела, використовуючи відповідні йому залежності пропорційного перерахування, а також знаючи якесь вихідне значення інтенсивності  $I_0$ , яке характеризує джерело, в іншому місці простору залежно від відстані  $R$  від джерела, можна визначити значення інтенсивності  $I$  з урахуванням зниження цієї інтенсивності  $I$  стосовно вихідного значення інтенсивності  $I_0$  (тобто в міру видалення від джерела).

Завдання в загальному випадку зводиться до дослідження залежностей спаду звукової енергії в міру видалення від джерела (стосовно вихідних контрольних точок, розташованих на невеликій відстані від джерела). Такі залежності в загальному випадку були виявлені вже давно, канонізовані й, наприклад, згідно з [2, с.19], становлять 6 дБ при подвоєнні відстані від точкового джерела

$$L = L_0 - 20 \lg (R / R_0) \quad (1)$$

і 3 дБ при подвоєнні від лінійного

$$L = L_0 - 10 \lg (R / R_0). \quad (2)$$

Цифри 6 і 3 дБ утворюються як результати обчислення  $2R_0/R_0$  за формулами (1) і (2) (тому що  $R = 2R_0$ ).

Тут  $L$  – шуканий рівень звукового тиску (дБ) на відстані  $R$  від

джерела з відомим (заданим) рівнем  $L_0$  на відстані  $R_0$ .

У більшості інших книг, присвячених боротьбі з шумом, ці формули бездумно повторюються (без яких-небудь пояснень), хоча, наприклад, у [2, с.23] наведена модернізована формула (1), де в знаменник замість  $R_0$  підставлено значення 7,5, яке символізує вищевказану вимогу (рівні від транспортних потоків вимірюються й нормуються на відстані 7,5 м від осі найближчої смуги руху), а, наприклад, у роботі [3, с.12] ця ж вимога виражена словесно: "...первую точку выбирают в 7,5 м от оси первой полосы (колеи) движения,... последующие точки – на удвоенном расстоянии от первой (7,5; 15; 30 м; и т.д.) в сторону рассматриваемой территории..."

Однак навіть роботи [2, 3] не пояснюють, чому саме зниження шуму при подвоєнні відстані дорівнює 6 і 3 дБ?

Крім того, розташовувати розрахункові точки при прогнозуванні, картографуванні, вивченні шумового режиму потрібно саме в необхідних місцях контролю досліджуваної території (або поверхні), які далеко не завжди відстоять «на удвоенном расстоянии от первой (7,5; 15; 30 м; и т.д.) в сторону рассматриваемой территории...», а найчастіше перебувають зовсім в іншому місці (вкрай широка варіабельність залежно від місцевих умов і поставленого завдання). Існуючі ж методи розрахунку прив'язуються саме до базових точок, що відстоять на вищевказані кратні відстані, а в інших необхідних точках невідомі рівні визначаються не інакше, як шляхом інтерполяції між значеннями, обчисленими в базових точках (або проведення натурних вимірів у них, які, як правило, показують значні розбіжності з даними інтерпольованого розрахунку).

Відповідно до стандартизованої методики, рівні транспортного шуму характеризуються вихідним значенням  $L_0$ , що прив'язується не тільки до відстані  $R_0$ , рівної 7,5 м, але й до висоти 1,2 м (на якій розташована дана контрольна точка). Отже, наступні розрахункові точки стосовно рівня поверхні повинні розташовуватися на відповідній же рівнозначній висоті? (ця вимога в переважній більшості літературних джерел замовчується (мовчки мається на увазі)). В той же час для рішення ряду завдань необхідно створити просторову, тривимірну картину розподілу шуму (розрахувати рівні на різних висотах над рівнем земної поверхні, наприклад, на висотах 4,1 м, 19,25 м або будь-яких інших).

Нами запропоновано спосіб визначення інтенсивності випромінювання в контрольній точці, розташованій на необхідній відстані  $R$  від джерела, який включає визначення вихідного значення інтенсивності  $I_0$  у точці, розташованій на первісно заданій відстані  $R_0$  від того ж

джерела, при тому обчислюють площі хвильових фронтів  $S$  на необхідній відстані  $R$  від джерела й  $S_0$  на спочатку заданій відстані  $R_0$  від того ж джерела, і визначають шукану інтенсивність  $I$  залежно від співвідношення площ хвильових фронтів:

$$I = I_0 S_0 / S, \text{ Вт/м}^2.$$

Поставлені завдання досягаються тим, що переходять від абсолютних значень інтенсивності до відносних логарифмічних рівнів, і, наприклад, визначають рівень інтенсивності звуку  $L$  залежно від співвідношення площ хвильових фронтів:

$$L = L_0 - 10 \lg (S / S_0), \text{ дБ.}$$

Основною відмінністю пропозиції від відомих формул є те, що визначення інтенсивності в міру віддалення від джерела випромінювання здійснюють не залежно від зміни відстані  $R$ , а залежно від зміни площі фронту (у математичне вираження якої, природно, входить і зазначена відстань  $R$ ). Це дозволяє, з одного боку, перевірити правильність результатів обчислень відповідно до нашого способу при зіставленні їх з результатами обчислень для порівняно простих форм хвильових фронтів (у вигляді сферичного для точкового джерела, циліндричного для лінійного й т.п.), оскільки деякі складові формул, що описують площі вихідного й кінцевого фронтів у цьому випадку скорочуються; а з іншого – здійснити обчислення при інших, набагато більш складніших формах хвильових фронтів.

Інтенсивність звуку в будь-якій точці простору являє собою відношення звукової потужності  $P$  до площі фронту звукової хвилі  $S$ . При спробі опису цієї ж самої хвилі, випроміненої тим же самим джерелом, при поширенні її в будь-якому місці простору з різними просторовими координатами, дійдемо висновку, що в міру видалення потужність (чисельна кількість) не міняється (закон збереження енергії), однак же змінюється площа фронту. По мірі віддалення від джерела поверхня фронту безперестану збільшується, і звукова енергія розподіляється по все більшій і більшій площі. Кількість енергії залишається незмінною, змінюється лише значення площі.

Наприклад, дві площі того самого хвильового фронту на відстані  $R$ , від точкового джерела з відомим  $L_0$  (що на відстані  $R_0$ ) записуються відповідно як  $S = 4\pi R^2$  і  $S_0 = 4\pi R_0^2$ , їхні інтенсивності можуть бути записані відповідно як  $I = P/S$  і  $I_0 = P/S_0$  або  $I = P/4\pi R^2$  і  $I_0 = P/4\pi R_0^2$  (зауважимо, що звукова потужність  $P$  на відстані  $R$  дорівнює звуковій потужності на відстані  $R_0$ , тобто  $P = P_0$  (тому позначення  $P_0$  далі просто не використовуємо)). Тоді

$$P = P_0 = I S = I_0 S_0, \text{ Вт}; \quad I = I_0 S_0 / S, \text{ Вт/м}^2, \quad (3)$$

тобто інтенсивності пов'язані між собою залежністю площ хвильових

фронтів

$$I 4\pi R^2 = I_0 4\pi R_0^2;$$

$$I = I_0 (R_0^2 / R^2), \text{ Вт/м}^2.$$

Таким чином, пояснене добре відоме раніше явище спаду інтенсивності від точкового джерела пропорційно квадрату відстані, відкрито емпіричним шляхом (шляхом безпосередніх вимірів) і описана в безлічі літературних джерел.

Інтерес представляє перехід до логарифмічних рівнів (оскільки в акустиці, наприклад, використовують не абсолютні значення інтенсивності, а відносні логарифмічні рівні).

Рівень звукового тиску (основний параметр, що підлягає визначенню в завданнях технічної акустики), чисельно дорівнює рівню інтенсивності  $L$ , дБ, що визначається як:

$$L = 10 \lg (I / 10^{-12});$$

$$L_0 = 10 \lg (I_0 / 10^{-12}), \text{ дБ},$$

де  $10^{-12}$  Вт – значення інтенсивності на порозі чутності (самий тихий звук, що сприймається людським вухом) на частоті 1000 Гц.

Перепишемо ще раз:

$$L = 10 \lg I - 10 \lg 10^{-12}, \text{ дБ};$$

$$L_0 = 10 \lg I_0 - 10 \lg 10^{-12}, \text{ дБ};$$

$$L - 10 \lg I = -10 \lg 10^{-12}, \text{ дБ};$$

$$L_0 - 10 \lg I_0 = -10 \lg 10^{-12}, \text{ дБ};$$

$$L - 10 \lg I = L_0 - 10 \lg I_0, \text{ дБ};$$

$$L = L_0 - 10 \lg I_0 + 10 \lg I, \text{ дБ}.$$

Оскільки з (3) маємо  $I S / S_0 = I_0$ , Вт/м<sup>2</sup>, тоді

$$L = L_0 - 10 \lg (I S / S_0) + 10 \lg I,$$

$$L = L_0 - 10 \lg (S / S_0). \quad (4)$$

Звідки, переходячи від абсолютних значень інтенсивності до відносних логарифмічних рівнів, і підставляючи значення площ фронтів (для точкового джерела – площу сфери), одержуємо  $L = L_0 - 20 \lg (R/R_0)$ , тобто формулу (1). Підставляючи значення площ фронтів для лінійного джерела, тобто площу циліндра, одержуємо  $L = L_0 - 10 \lg (R/R_0)$ , тобто формулу (2).

Таким чином, будь-який рівень  $L$  на відстані  $R$  від джерела будь-якого типу (точкового, лінійного, плоского, просторового та ін.) з відомим  $L_0$  (на відстані  $R_0$ ) можна розрахувати за допомогою обчислення площ фронту (оскільки площі циліндричних і напівциліндричних поверхонь хвильового фронту пов'язані між собою не квадратичною, а лінійною залежністю, аналогічно для них може бути отримане (2) і значення спаду в 3 дБ при подвоєнні відстані). Так, підставляючи в (4)

значення площ фронтів для лінійного джерела, тобто площу циліндра, скорочуючи при тому непотрібні складники, одержуємо  $L = L_0 - 10 \lg (R / R_0)$ , тобто формулу (2).

Відомі залежності (1), (2) таким чином, є граничними випадками залежностей загального вигляду (3) і (4). Якщо (1), (2) констатують спад інтенсивності випромінювання пропорційно збільшенню відстані від джерела (квадрату відстані, або якоїсь іншої залежності при інших видах джерела (наприклад, плоского джерела та ін.), ми в залежностях (3) і (4) констатуємо спад інтенсивності випромінювання пропорційно збільшенню площі хвильового фронту (а в будь-яке вираження площі фронту в якості однієї зі складових входить відстань від джерела). У розглянутих граничних випадках (коли форми вихідного й досліджуваного фронтів збігаються) площі  $S$  і  $S_0$  обчислюються за однаковими формулами, а інші складові (3) і (4) просто математично скорочуються. Інтерес представляє випадок, коли форми вихідного й досліджуваного фронтів неоднакові.

Тепер відповімо на запитання, чому канонічні залежності зниження рівня на 6 дБ від точкового джерела й на 3 дБ від лінійного дуже часто не виконуються на практиці, і дані натурних вимірів вступають у протиріччя з розрахунком (на що дуже часто скаржаться практики).

При розгляді фронту, випромінюваного джерелом, його ідеалізують: йому надають якусь "зроблену", штучну, симетричну форму. Зокрема, при розгляді фронту, випромінюваного точковим джерелом, звичайно виходять з того, що хвилею випромінюється сферичний (напівсферичний у випадку півпростору) фронт; при розгляді випромінюваного лінійним джерелом – циліндричний (напівциліндричний для півпростору) фронт і т.п. Відстані  $R_0$  і  $R$  у цьому випадку – не що інше, як радіуси сфери або циліндра; ніякої мови про те, що для того самого фронту в різних його перетинах можуть існувати різні між собою  $R_{01}$ ,  $R_{02}$ , ...  $R_{0i}$  і відповідно  $R_1$ ,  $R_2$ , ...  $R_i$  бути не може.

Оскільки звукова хвиля, наприклад, поширюється зі швидкістю звуку – приймається, що збурювання в просторі поширюється (розширюється) в усі сторони зовсім адекватним образом. Однак середовище розповсюдження, як правило, не ізотропне, – і у випадку наявності вітру, наприклад, в одному з напрямків вектори швидкості звуку й швидкості складаються, у діаметрально протилежному йому – віднімаються; в інших напрямках поширення відбувається векторне додавання швидкостей. Тому, навіть якщо діаграма спрямованості джерела шуму на відстані  $R_0$  споконвічно має сферичну (напівсферичну) форму, на більше віддаленій відстані  $R$  форма фронту, що поширюється

далі, під впливом вітру являє собою якусь каплевидну фігуру. Наявність рельєфу місцевості, екранів, які локально перепиняють шлях частини поверхні фронту, і багато чого іншого (наприклад, каустики хвильових фронтів) дуже видозмінює форму хвильового фронту, який віддалився від джерела на деяку відстань  $R$ , у порівнянні з первісною формою. Таким чином, варто помітити, що вихідний і кінцевий фронти, по-перше, не являють собою кожний окремо "ідеальну" симетричну фігуру; а по-друге, вони ще й геометрично не подібні один одному. По-третє, якщо мова йде про джерела, що рухаються в просторі: (наприклад, автомобілі на автостраді, кожний з яких, згідно з [2], при малій інтенсивності руху може розглядатися як самостійне точкове джерело шуму), центри цих фігур (що описують форму хвильових фронтів) не збігаються між собою.

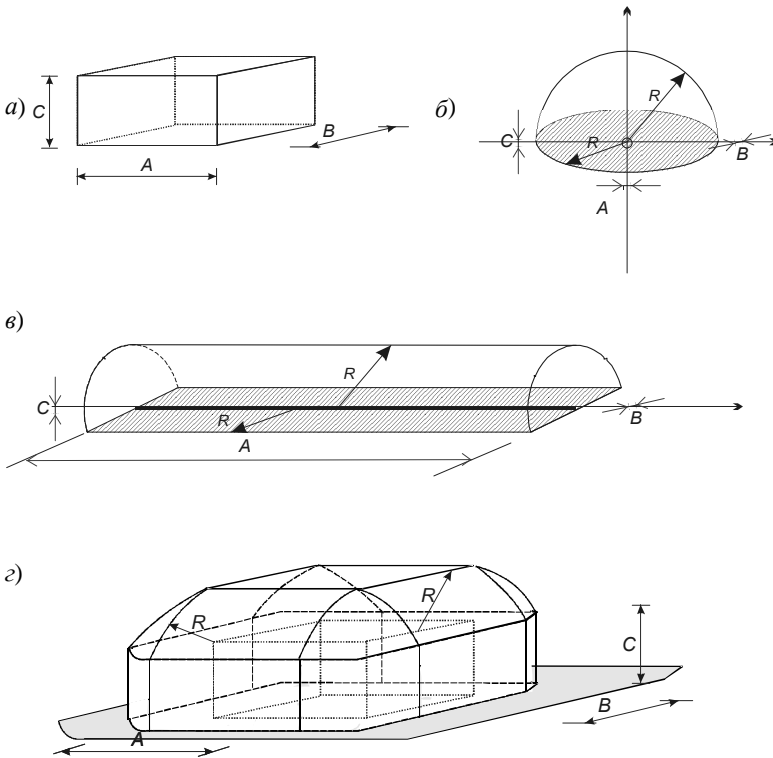
За нашими поданнями, обидві площі фронтів  $S$  і  $S_0$  обчислюються окремо; і обчислюються вони як площі двох неконгруентних геометричних фігур. При цьому форма вихідного фронту з площею  $S_0$  може бути не якоюсь ідеальною фігурою типу півсфери, напівциліндра, і може не повторювати реальну конфігурацію поверхні джерела якоїсь складної форми. Форма кінцевого фронту ще більш складна і не повторює форму вихідного фронту, оскільки виходить з неї з урахуванням неминучих змін, що накладаються середовищем поширення хвилі (різні швидкості поширення в різних напрямках, перешкоди і т.п.)

Наші роботи [4-6], а також [7, 8] розглядають конкретні форми хвильових фронтів на відстані  $R$  від джерел (точкових, лінійних, плоских, просторових у формі прямокутного паралелепіпеду), зводячи їх до форми фронту від просторового джерела у формі прямокутного паралелепіпеду розмірами  $A \times B \times C$ , м (інші три види, відповідно до наших подань, є виродженими формами):

- точкове джерело ( $A \rightarrow 0, B \rightarrow 0, C \rightarrow 0, R = \text{var}$ );
- лінійне джерело ( $B \rightarrow 0, C \rightarrow 0, R = \text{var}, A = \text{var}$ );
- плоске джерело ( $C \rightarrow 0, A = \text{var}, B = \text{var}, R = \text{var}$ ).

Знаючи вихідну звукову потужність джерела і створивши математичний опис хвильового фронту, що проходить через яку-небудь точку, віддалену на яку-небудь відстань від джерела, можна вказати чисельне значення інтенсивності звуку в даній точці (а, розуміючи загальний принцип, можна взагалі відмовитися від абсолютних значень і легко перейти до звичних рівнів у дБ). Звідси (з опису конкретної форми хвильового фронту) випливає відома залежність спаду рівнів звукового тиску на 6 дБ при подвоєнні відстані від точкового джерела (спад пропорційно квадрату відстані); відома залежність спаду рівнів звукового тиску на 3 дБ при подвоєнні відстані від лінійного джерела

(спад пропорційно першому ступеню відстані) і багато інших залежностей. Вони у свій час були відкриті емпіричним шляхом; у той же час, розуміючи загальний принцип, можна побудувати зображення хвильових фронтів від точкового (рисунок, б) і лінійного (рисунок, в) джерел (з відомими первісними рівнями звукової потужності), які проходять через точки з невідомими рівнями звукового тиску, віддалені на якусь відстань  $R$  від джерела й за рахунок обчислення площ хвильових фронтів в обох випадках розрахувати спад рівнів звукового тиску залежно від відстані.



Джерело випромінювання у формі прямокутного паралелепіпеда розмірами  $A \times B \times C$  (а) і форми хвильових фронтів від нього (у півпросторі): від точкового (б), лінійного (в) і просторового (г) джерел.

1. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1985. – 520 с.
2. Поспелов П.И. Борьба с шумом на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1981. – 88 с.
3. Самойлюк Е.П., Денисенко В.И., Пилипенко А.П. Борьба с шумом в населенных

местах. – К.: Будівельник, 1981. – 144 с.

4.Абракизов В.Э. Аналоговое и квазианалоговое моделирование процессов распространения звука в пространстве для прогнозирования шумового режима на защищаемом объекте. – Харьков: АО ХГПИ, 1997. – 40 с.

5.Абракизов В.Е. Аналоговое та квазіаналогове моделювання процесів розповсюдження звуку в просторі для прогнозування шумового режиму на об'єкті, що захищається. – 2-ге вид., перероб. та доп. – Харків: Парус, 2007. – 108 с.

6.Абракизов В.Е. Багаторазові відбиття звуку в акустичних розрахунках. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 416 с.

7.Коржик Б.М., Абракизов В.Э. Влияние фронтов поверхности распространения звуковой энергии на расчеты уровней звукового давления в целях прогнозирования шумового режима городов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.3. – К.: Техніка, 1994. – С.105-110.

8.Абракизов В.Э. Типичные формы волновых фронтов разнообразных видов излучений // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.38. – К.: Техніка, 2002. – С.215-219.

*Отримано 26.10.2007*

УДК 621.3

Ю.А.АБРАМОВ, д-р техн. наук, А.А.ТАРАСЕНКО, канд. техн. наук  
*Университет гражданской защиты Украины, г.Харьков*

## **ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ СПЛАЙНАМИ КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТА**

Предложена математическая модель для аналитического описания контуров природных и антропогенных объектов в виде кусочной параметрически заданной функции, являющейся результатом сплайн-интерполяции полиномами третьего порядка на узлах, принадлежащих контуру. Даны оценки погрешности приближения.

Проектирование устройства ряда антропогенных объектов, таких как искусственные водоемы, парки, линии электропередач, магистральные трубопроводы, железные дороги и автострасы становится более эффективным и менее затратным при использовании методов, основанных на аналитическом описании их очертаний. Задание контуров природных объектов, таких как русла рек, топографические изолинии, границы лесных массивов и их выделов, т.е. тех объектов, очертания которых имеют вид непрерывных гладких линий, в виде единых аналитических выражений, позволяет эффективно проводить мероприятия по планированию застройки и строительству коммуникаций, а также находить геометрические параметры этих объектов – длину периметра, протяженность, площадь и форму.

Особый интерес представляет аналитическое описание контура для динамических объектов, геометрические параметры которых изменяются со временем. Примерами таких объектов являются зоны не-